CALCOLO DI UNA SEZIONE ALARE (ALA MONOLONGHERONE)

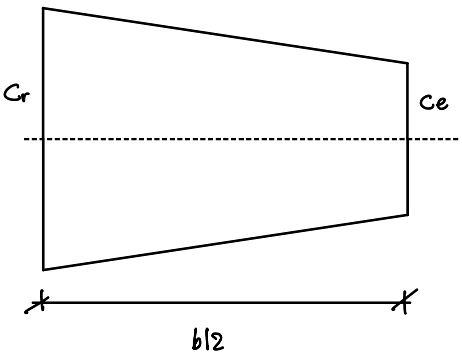
ESERCIZIO – Dimensionare solette e anime del longherone e rivestimento del bordo di attacco, in una sezione distante 4 m dalla mezzeria, per un'ala monolongherone di un velivolo avente le caratteristiche sottoindicate:

PESO TOTALE	$W = 4500\ kg = 44100\ N$
SUPERFICIE ALARE	$S = 25\ m^2$
ALLUNG.TO ALARE	$AR = 7{,}5$
COEFF. DI CONTING	$n = 2{,}5$
RAPPORTO DI RASTR.	$r = 0.5 = C_e / C_r$
PESO DELL'ALA	$W_a = 510\ kg = 5003\ N$

SVOLGIMENTO – Noti AR e S, calcoliamo l'apertura alare

$$AR = \frac{b^2}{S} \rightarrow b = \sqrt{AR\,S} = \sqrt{7.5 \times 25} = 13.7\ m$$

$$AR = \frac{b}{c} \rightarrow \bar{c} = \frac{b}{AR} = \frac{13.7}{7.5} = 1.83\ m$$



Per determinare la corda del profilo nella sezione distante 4 m dalla mezzeria, occorre calcolare Cr e Ce.

$$\begin{cases} \dfrac{C_e}{C_r} = 0.5 \rightarrow C_e = 0.5 \cdot C_r \\[2ex] \dfrac{C_r + C_e}{2} = \bar{c} = 1.83 \end{cases}$$

da cui è:

$$C_e = 1.22 \quad e \quad C_r = 2.44$$

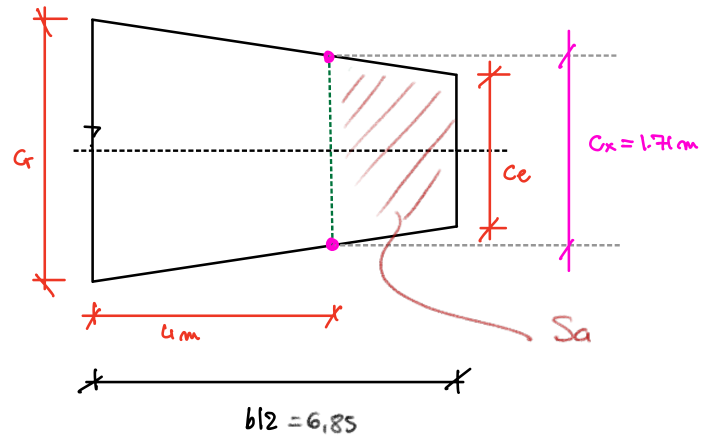
Per calcolare la corda $c(x = 4\ m)$ possiamo interpolare linearmente:

$C_r = 2.44$ $\qquad x = 0$

C_x $\qquad x = 4$

$C_e = 1.22$ $\qquad x = b/2 = \frac{13.7}{2} = 6.85$

$$\frac{C_x - 1.22}{2.44 - 1.22} = \frac{4 - 0}{6.85 - 0} \iff 1.18\,(C_x - 1.22) = 0.58 \to C_x = 1.71\,m$$



Scegliamo il profilo NACA 64₁-212. Le ordinate del profilo nelle tabelle NACA sono riferite a una corda di 1 m; dobbiamo moltiplicarle per 1.73 per ottenere i valori nella sezione considerata.

DETERMINAZIONE DELLE FORZE AGENTI

L'ala è rastremata: i carichi verticali sulla superficie alare variano in maniera proporzionale alla corda alare con legge trapezoidale
Per calcolare la portanza aerodinamica, partiamo dalle condizioni di volo.
La portanza totale la valutiamo dal fattore di carico:

$$n = \frac{L}{W} \to L = nW = 2.5 \times 44100 = 110'250\ N$$

La superficie d'ala esterna alla sezione considerata è

$$S_a = \frac{(C_x + C_e)}{2} \times \left[\frac{b}{2} - 4\right] = \frac{1.71 + 1.22}{2}\left[\frac{13.7}{2} - 4\right] = 4.18\ m^2$$

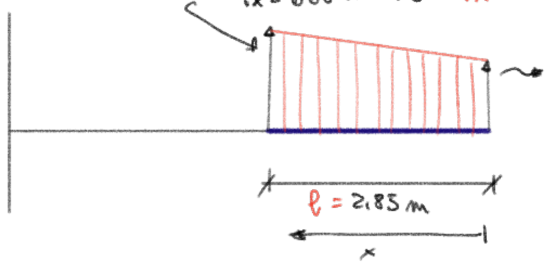
$$L_{TOT} : S = L_a : S_a \rightarrow L_a = L_{TOT} \cdot \frac{S_a}{S_{TOT}} = 110250 \times \frac{4.18}{25} \simeq 18444 N$$

Nell'ipotesi che la struttura dell'ala sia omogenea, il peso della parte esterna alla sezione considerata è proporzionale a S_a

$$W_{TOT} : S = W_a : S_a \rightarrow W_a = W_{TOT} \frac{S_a}{S_{TOT}} = 5003 \times \frac{4.18}{25} = 836,5 N$$

$$\begin{cases} L_E = \dfrac{L_{TOT}}{S} C_E = \dfrac{110250}{25} \times 1.22 = 5380,2 N/m \\ L_x = \dfrac{L_{TOT}}{S} C_x = \dfrac{110250}{25} \times 1,71 = 7541,1 N/m \end{cases}$$

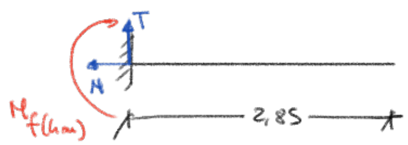
$$\begin{cases} q_E = \dfrac{n W_{ala}}{S_{tot}} \cdot C_E = \dfrac{2,5 \times 5003}{25} \times 1.22 = 610,4 N/m \\ q_x = \dfrac{n W_{ala}}{S_{TOT}} \cdot C_x = \dfrac{2,5 \times 5003}{25} \times 1,71 = 855,5 N/m \end{cases}$$



In pratica la nostra non è una situazione assimilabile a quella di un'ala di lunghezza ridotta, pari a $(l/2 - x) = 2,85 m$, considerata incastrata nella sezione $(x = 4 m)$ e lungo cui è applicato un carico verticale

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

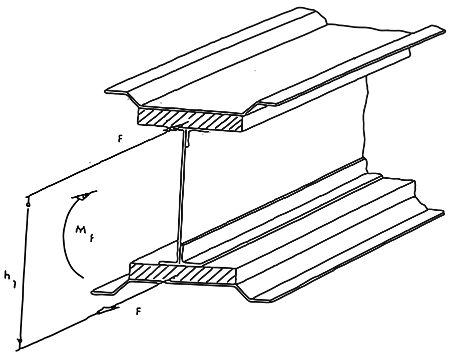
$$\begin{cases} N_x = 0 \\ T_x = (f_x - f_E) \dfrac{x^2}{2 \cdot \ell} + f_E \cdot x \\ M_x = (f_x - f_E) \dfrac{x^3}{2\ell} + f_E \cdot \dfrac{x^2}{2} \end{cases}$$



$$T(x=4m) = [6685,6 - 4769,8] \cdot \frac{2,85^2}{5,70} + 4769,8 \cdot 2,85 = 16324 N$$

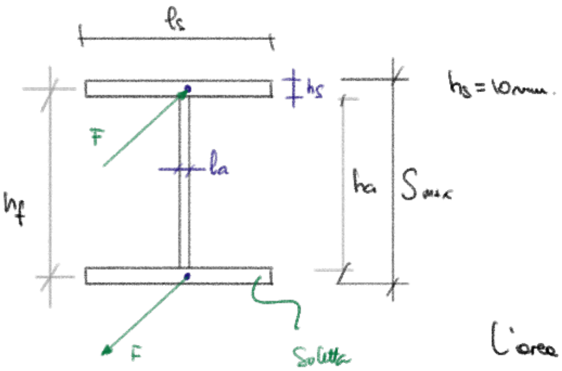
$$M(x=4m) = [6685,6 - 4769,8] \cdot \frac{2,85^3}{5,70} + \frac{2,85^2}{2} \cdot 4769,8 = 19375 Nm$$

DIMENSIONAMENTO DEL LONGHERONE



Con buona approssimazione possiamo considerare come resistenti al momento flettente le solette del longherone e come resistente al taglio l'anima.
Ipotizzando l'utilizzo di un longherone con anima a doppio T, di tipo simmetrico

Il profilo scelto è un NACA 64,212, il cui spessore è pari a 12% della corda;



$$S_{max} = \frac{S}{100} * C_x - 5\% \left(\frac{S}{100} * C_x \right) =$$

$$= \frac{12}{100} \times 1.71 \cdot 1000 - 5\% \left(\frac{12}{100} \times 1.71 \cdot 1000 \right)$$

$$= 195 mm$$

L'area di ciascuna soletta è:

$$A_s = \frac{F}{\sigma_{amm}} = \frac{M_f}{\sigma_{am} \cdot h_f}$$

essendo:

$$h_f = S_{max} - 2 \cdot \frac{h_s}{2} = H_{max} - h_s = 195 - 10 mm = 185 mm \cong 0.185 m$$

Quindi:

$$A_s = \frac{19375}{323,3 \cdot 0,185} = 324 mm^2$$

avendo scelto come materiale sia per le solette che per le anime l'ERGAL la cui $\sigma_{amm} = 323,33 N/mm^2$.

Si ha, poi, che la larghezza della soletta è:

$$l_s = \frac{A_s}{h_s} = \frac{323.33}{10} = 32,33 mm$$

Per l'anima è:

$h_a = S \ldots - 2 h_s = 195 - \ldots = 175$

$t_a = \omega_{max} - 2 \cdot 115 = $ [illegible] $= 175\,mm$.

mentre

$$l_a = \frac{3}{2} \cdot \frac{T_{x=4m}}{t_a \cdot \tau_{amm}} \quad \text{con} \quad \tau_{amm} = 0.58 \times \sigma_{amm} = 0.58 \times 323{,}33 = 187{,}53\ N/mm^2$$

è:

$$l_a = \frac{3}{2} \times \frac{16324}{175 \times 187{,}53} = 0.75\,mm$$

Si assume $l_a = 1\,mm$ poiché lo spessore dell'anima del longherone deve essere scelto, tra i prodotti disponibili nel mercato, come il valore in eccesso più vicino a quello che abbiamo calcolato.

DIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE ALARE

Per completare il dimensionamento della sezione alare posta a 4 m dall'asse della fusoliera, occorre verificare la resistenza alla torsione, calcolando lo spessore della lamiera di rivestimento del bordo d'attacco.

$$t \geq \frac{M_t}{2 \cdot A \cdot \tau_{amm}}$$

$$M_{t(x=4m)} = \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot S_a \cdot C_m \cdot C_{ma}$$

- $\rho = 1{,}225\ kg/m^3$
- $v = 600\ km/h = 166{,}67\ m/s$
- $S_a = \frac{(C_r + C_e)}{2} \times \left[\frac{b}{2} - 4\right] = \frac{1{,}71 + 1{,}22}{2}\left[\frac{13.7}{2} - 4\right] = 4.18\ m^2$
- C_{ma} := corda media aerodinamica
- C_m := coefficiente momento focale

□ Determinazione di C_m.

$$C_l = \frac{2 \cdot n W}{\rho\, v^2\, S} = \frac{2 \cdot 2.5 \cdot 44100}{1.225 \cdot 166.67^2 \cdot 25} = 0.259$$

○ Calcolo della corda media aerodinamica, cmc.

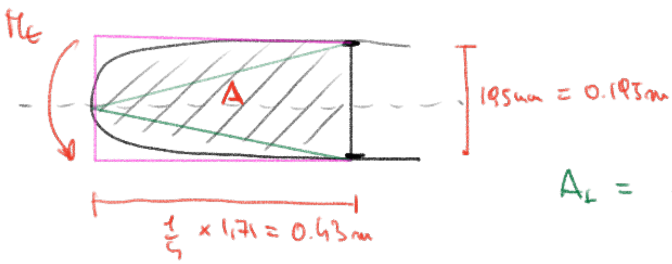
$$c_{mc} = \frac{2}{3} \cdot \left(c_x + c_E - \frac{c_x * c_E}{c_x + c_E} \right) = \frac{2}{3} \cdot \left(1.71 + 1.22 - \frac{1.71 \times 1.22}{1.71 + 1.22} \right) = 1.48 \text{ m}$$

Quindi

$$M_t = \frac{1}{2} \times 0.03 \times 1.225 \times 166.67^2 \times 4.18 \times 1.48 = 3157.77 \text{ Nm}$$

Poiché il rivestimento è realizzato in Avional, si ha:

$$\tau_{amm} = 0.58 \times \sigma_{amm} = 0.58 \times 160 = 92.80 \text{ N/mm}^2$$



$$A_1 = \frac{0.195 \times 0.43}{2} = 0.042 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.43 \times 0.195 = 0.084 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2} = 0.063 \text{ m}^2 \cong 0.1 \text{ m}^2$$

ATTACCHI ALARI

Progettare gli attacchi di una semiala monolongherone a pianta rettangolare, con pianetto centrale, per un velivolo avente le caratteristiche sottoindicate:

- PESO TOTALE $W = 2500\ kg$
- SUPERFICIE ALARE $S = 15\ m^2$
- APERTURA ALARE $b = 10\ m$
- LUNGHEZZA PIANETTO CENTRALE $l_p = 1.60\ m$
- PESO DELLA SEMIALA $W_a = 93,6\ kg$
- FATTORE DI CARICO $n = 2,5$

SVOLGIMENTO - Esistono numerosi metodi per collegare una semiala alla relativa fusoliera. Quello più usato per velivoli monolongherone è quello definito ATTACCO A PETTINE.

L'ala è sottoposta all'azione di una forza aerodinamica totale che genera sforzi normali e tangenziali. Questi sono assorbiti per la maggior parte dal longherone e, da esso, si trasmettono poi tramite l'attacco stesso, alla fusoliera.

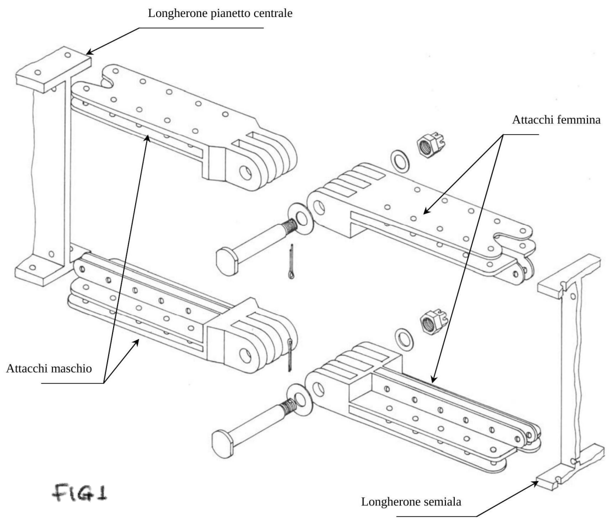


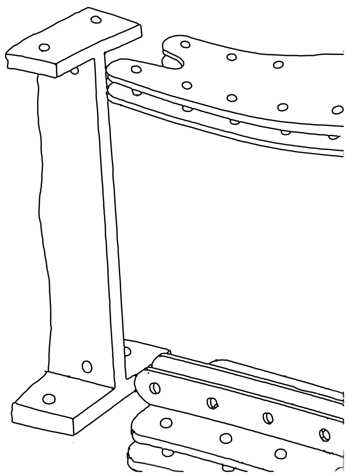
FIG 1

Occorre perciò costruire un elemento di collegamento adatto a resistere a queste sollecitazioni. L'attacco a pettine presenta numerosi vantaggi rispetto ad altri attacchi, ovvero di presentare tutti i fori per rivetti o chiodature, in particolari posizioni, in modo che siano sede solo di sollecitazioni tangenziali. Infatti, un rivetto o chiodo ~~NON~~ viene mai utilizzato per resistere a sforzi normali o di flessione ma solo a sforzi di taglio.

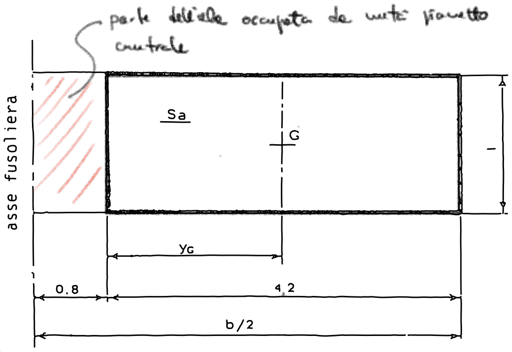
Osservando la FIG 1, notiamo che l'attacco a pettine è formato da due parti:

[illegible]
una definita maschio e l'altra definita femmina – entrambe le parti sono collegabili mediante un perno.
Per ogni soletta vi è un attacco, perciò per una semiala monolongherone si

dovranno utilizzare due attacchi tipo maschio e due attacchi tipo femmina.
Dalla figura è possibile notare come sono disposti i fori per i rivetti che uniscono l'attacco con il longherone. Quelli che andranno a collegarsi con le solette sono perpendicolari a esse, in modo che resistano alla forza derivante dal momento dell'ala. Le solette del longherone, infatti, sono progettate principalmente per sopportare lo sforzo derivante dal momento. Il momento è dato da una coppia di forze che passa per il baricentro di una sezione lungo la corda delle solette.
Il momento è dato da una coppia di forze che passa per il baricentro di una sezione lungo la corda della soletta – per i rivetti questa forza è vista come sforzo di taglio.



Stesso discorso per i rivetti che collegano l'attacco con l'anima del longherone. La forza tagliante è data dalla differenza di tutte le forze che tendono verso l'alto (portanza) e quelle di direzione opposta (peso struttura ala, combustibile, ecc.)
Sarà dimensionato dapprima il longherone, solette e anima, e di conseguenza l'attacco in modo che il numero di rivetti utilizzati per il collegamento sia adeguato e che ovviamente la struttura intera resista.



PROGETTO

• Calcolo della corda dell'ala ■ Sapendo che l'ala è rettangolare si ha:

$$S = b \cdot l \rightarrow l = \frac{S}{b} = \frac{15}{10} = 1{,}5\,m$$

Per calcolare il taglio e il momento

Ultimate nella sezione degli attacchi, dobbiamo determinare le forze agenti nella semiala.

Sulla semiala agisce, verso l'alto, la portanza che, nell'ipotesi di distribuzione uniforme, è proporzionale alla superficie della semiala stessa.

1. Calcolo della corda, ℓ:

$$S = b\,\ell \rightarrow \ell = S/b = 15/10 = 1.5\,m$$

2. Calcolo della superficie effettiva della semiala:

$$S_a = \frac{S}{2} - \frac{\ell_p}{2} \times \ell = \frac{15}{2} - \frac{1.6}{2} \times 1.5 = 6.3\,m^2$$

3. PORTANZA TOTALE DEL VELIVOLO

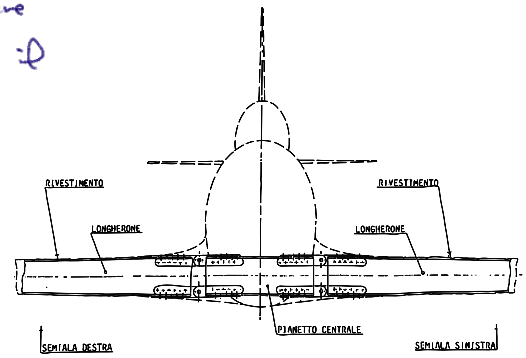
$$L = n \cdot W = 2.5 \times 2500 \times 9.81 = 61312{,}50\,N$$

4. PORTANZA SULLA SEMIALA

$$L_a = L \times \frac{S_a}{S} = 61312{,}50 \times \frac{6.3}{15} = 25751{,}25\,N$$

5. FORZA TOTALE AGENTE SULLA SEMIALA

Sulla semiala in esame agisce anche il peso della semiala stessa; tale forza è diretta verso il basso e deve essere moltiplicata per n in quanto eseguiamo il calcolo a contingenza.

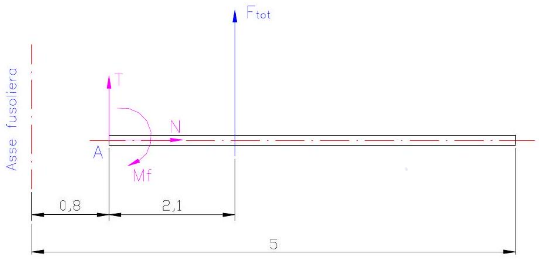


$$F_{tot} = L_a - n\,W_a\,g =$$
$$= 25751{,}25 - 2.5 \times 93{,}6 \times 9.81 =$$
$$= 23455{,}71\,N$$

6. Calcolo del baricentro della semiala.

Nell'ipotesi di portanza uniformemente distribuita e di ala a struttura omogenea me le portanze che il peso delle semiali sono applicati nel baricentro, Y_G, della semiala.

Essendo l'ala a pianta rettangolare è: $Y_G = 4,2/2 = 2,1$ m



- Calcolo del momento flettente, M_f:

$$M_f = Y_G \cdot F_{TOT} = 2.1 \times 23455,71 = 49'256,99 \text{ N m}$$

- Forza verticale, T:

$$T + F_{TOT} = 0 \rightarrow T = -F_{TOT} = -23455,71 \text{ N}$$

7. PROGETTO DEL LONGHERONE

Dai dati del problema notiamo che il velivolo in questione è un piccolo velivolo di piccole dimensioni, poco veloce, perciò è lecito supporre che il profilo alare sia molto spesso.

Supponiamo che lo spessore del profilo alare sia il 15% della corda alare:

$$s = l \times 15\% = 1,5 \times 15\% = 0.225 \text{ m} = 225 \text{ mm}$$

□ L'altezza del longherone non sarà però pari a questo valore appena trovato, perché il profilo è curvo, mentre il longherone sarà realizzato con un doppio T. Per motivi costruttivi supponiamo che l'altezza totale del longherone sia $h = 220$ mm.

□ DIMENSIONAMENTO DELL'ANIMA

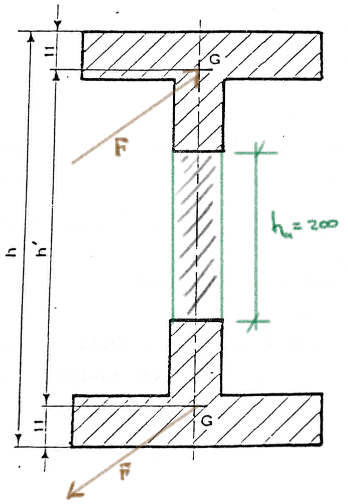
- Considerando che l'anima assorba solo lo sforzo di taglio T.

Scegliamo come materiale l'ERGAL 65 che presenta una tensione tangenziale normale di 180,90 N/mm²

$$\tau \leq K_t \quad ; \quad \tau = \frac{T}{A} \leq K_t$$

$$A = h_a * s \;\rightarrow\; s = \frac{T}{h_a * k_t} = \frac{23455,71}{200 \times 180,90} = 0.65\ mm \simeq 1\ mm$$

N.B. Abbiamo supposto l'altezza h_a dell'anima inferiore a quella totale per via delle solette



Se le sollecitazioni sono distribuite uniformemente nella sezione, la coppia di forze agente nelle solette passa per i baricentri delle solette.

$$M_f = F \cdot h'$$

Supponiamo che il baricentro G si trovi a 11 mm dalla base, quindi

$$h' = h - 2 \times 11 = 220 - 22 = 198\ mm$$

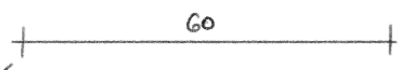
$$F = \frac{M_f}{h'} = \frac{49256,99 \cdot 1000}{198} = 248772,68\ N$$

L'area esistente è:

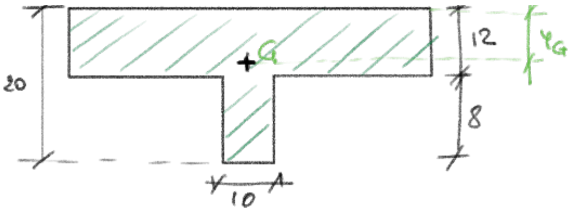
$$A = \frac{F}{K} = \frac{248772,68}{331,33} = 793,96\ mm^2$$

dove K è la tensione normale unitaria interna massima ammissibile e vale 313,33 N/mm².

Per tentativi, ricaviamo le dimensioni della sezione delle solette.
Assumiamo le dimensioni riportate in figura e controlliamo che l'area della sezione sia uguale all'area esistente calcolata.



$$A_s = 60 \times 12 + 8 \cdot 10 = 800\ mm^2 \quad ✓$$



Verifichiamo ora che la Y_G sia uguale a quella assunta in prima approssimazione.

$$Y_G = \frac{\sum_1 A_i Y_i}{\sum_1 A_i} = \frac{60\times12\times6 + 10\times8\times16}{800} = 7 \text{ mm}$$

Ripetiamo il calcolo della distanza tra i baricentri delle solette:

$$h' = h - 2\times7 = 206 \text{ mm}$$

La forza F_1 in questa seconda approssimazione:

$$F = \frac{M_f}{h'} = \frac{49256,99\cdot1000}{206} = 239111,60 \text{ N}$$

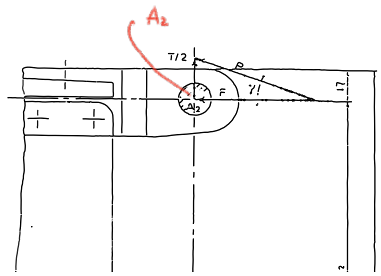
Per verificare che l'area resistente prima calcolata sia sufficiente, ricaviamo il valore della tensione unitaria interna e confrontiamola con il valore di k:

$$\frac{F}{A} = \frac{239111,60}{800} = 298,89 \frac{N}{mm^2} < k = 313,33 \frac{N}{mm^2}$$

Possiamo dunque considerare per le solette del longherone le dimensioni riportate in figura.

PROGETTO DELLO SPINOTTO DELL'ATTACCO A PETTINE

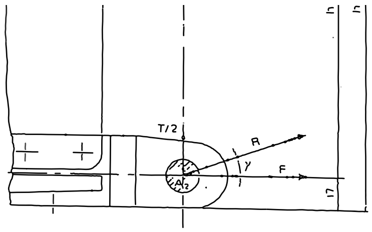
Lo spinotto è il perno di collegamento tra i due elementi che costituiscono l'attacco.



Supponiamo che l'asse dello spinotto sia posto a 17 mm dalla superficie esterna; l'interasse tra i due spinotti è:

$$h_2 = h - 2\times17 = 220 - 2\times17 = 186$$

$h_2 = h - 2\cdot 17 = 200 - 2\times 17 = 186$ mm



La forza agente sullo spinotto dovuto al momento flettente è:

$$F = \frac{M_f}{h_2} = \frac{49\,256{,}99 \cdot 1000}{186} = 264\,822{,}53\ N$$

Ogni spinotto deve trasmettere anche metà del taglio; la forza F e la T/2 agiscono in due direzioni perpendicolari; ricaviamo la risultante con il teorema di Pitagora:

$$R = \sqrt{F^2 + (T/2)^2} = \sqrt{(264\,822{,}53)^2 + \left(\frac{23455{,}71}{2}\right)^2} = 26\,5082{,}09\ N$$

L'angolo di cui è inclinata R rispetto a F è:

$$tg\,\gamma = \frac{T/2}{F} = \frac{11727{,}85}{264822{,}53} = 0.044$$

ovvero

$$\gamma = 2{,}54°$$

Costruiamo lo spinotto in acciaio 40 NiCrMo 7 con temperatura di rinvenimento di 550°C particolarmente adatto per le costruzioni aeronautiche.

Il carico di snervamento del materiale è $R_s = 1079{,}1\ N/mm^2$
Dividendo per il coeff. di sicurezza $K=2$, otteniamo:

$$\sigma_a = R_s/2 = 539{,}55\ N/mm^2$$

Lo spinotto lavora a taglio ovvero : $\tau_a = 0{,}58 * \sigma_a = 312{,}94\ N/mm^2$

Per sezioni circolari sollecitate a taglio è:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \cdot \tau_m = \frac{4}{3} \cdot \frac{T}{} = \frac{4}{}\ \frac{R}{}$$

s 3 A_2 3 A_2

Per l'attacco decidiamo di costruire il pettine in modo che le sezioni dello spinotto resistenti al taglio siano sei. Si ha, ponendo $\tau_a=\tau_{max}$:

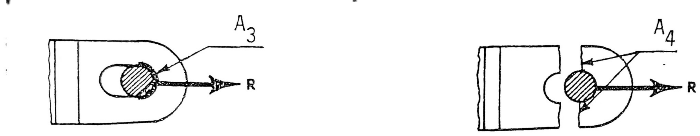
$$\tau_{max} = \frac{4}{3}\frac{R}{6A_2} \rightarrow A = \frac{4}{3}\frac{R}{6\,\tau_{max}} = \frac{4}{3}\frac{265082{,}09\ N}{6 \times 312{,}94} = 188{,}24\ mm$$

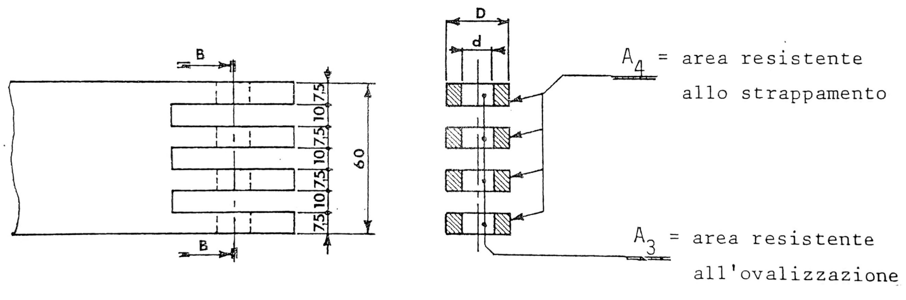
$$A_2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi\frac{d^2}{4} \rightarrow \sqrt{\frac{4}{\pi}A_2} = d = 15{,}48\ mm.$$

Assumiamo $d = 16\ mm$.

CALCOLO DEL PETTINE

Decidiamo di costruire l'attacco a pettine largo come la soletta del longherone (60 mm). Scegliamo come materiale lo stesso acciaio usato per il perno. Verifichiamo quindi l'ovalizzazione del foro.





- L'area resistente all'ovalizzazione è l'area di contatto tra il perno e l'attacco.

$$A_3 = (d * 7{,}5) * 4 = 16 * 30 = 480\ mm^2$$

Si esercita sul perno la pressione specifica

$$P_S = R/A_3 = 265082{,}09/480 = 552{,}25\ N/mm^2 < 2*\sigma_a$$

e quindi possiamo accettare per il perno di diametro 16 mm.

Calcoliamo ora il pettine allo strappamento secondo la sezione BB.
L'area resistente è :

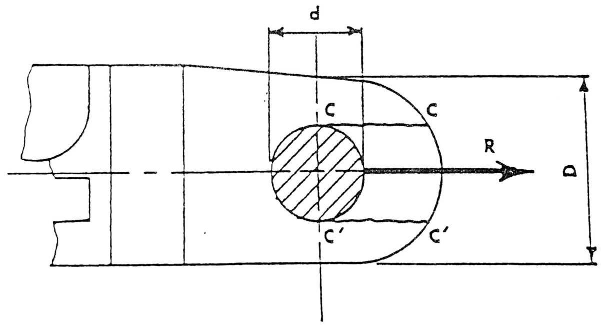
$$A_4 = (D-d) \times 7{,}5 \times 4$$

assumiamo : $D = 34$ mm $\longrightarrow$ $A_4 = 540$ mm^2

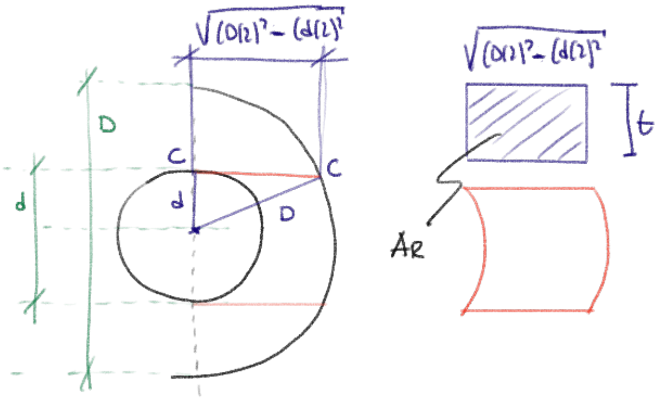
e verifichiamo che la σ risulti inferiore a σ_a

$$\sigma = R / A_4 = 265082{,}09 / 540 = 490{,}89 \text{ N/mm}^2 \leq 539 \text{ N/mm}^2$$

Lo strappamento del pettine può avvenire anche secondo le sezioni CC, C'C'.



È da notare che le due sezioni CC e C'C' resistono al taglio ; e quindi vogliamo confrontare la τ_{max} che si esercita su tali sezioni con la τ_a.



$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \cdot \tau_m$$

$$\overline{CC} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{34}{2}\right)^2 - \left(\frac{16}{2}\right)^2} = 15 \text{ mm}.$$

$$A_S = 2 * \overline{CC} \times (4 \times t) = 2 \times 15 \times 4 \times 7{,}5 = 900 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{max} = \frac{3}{2} * \tau_m = \frac{3}{2} * \frac{R}{A_S} = 441{,}80 \text{ N/mm}^2 > \tau_a = 0{,}58 * \sigma_a = 312{,}64 \text{ N/mm}^2$$

occorre aumentare l'area resistente.

$$\tau_{max} = \tau_a = 1,5 * \frac{R}{A_S} \rightarrow A_S = 1.5 * \frac{R}{\tau_a} = 1.5 * 2650 82,09/312,94 = 1270,60 \text{ mm}^2$$

ovvero
$$\overline{CC} = \frac{A_S}{2*4*t} = \frac{1270,60}{2*4*7,5} = 21,18 \text{ mm}$$

assumiamo $\overline{CC} = 21$ mm.

COLLEGAMENTO ATTACCHI SOLETTE

Effettuiamo il collegamento fra gli attacchi e le solette per mezzo di bulloni di acciaio 40 CrMo 7 con carico di snervamento $R_S = 1079,1$ N/mm².

$$\sigma_a = R_S/2 = 539,55 \text{ N/mm}^2$$

Calcoliamo i bulloni come lavoranti a taglio

$$\tau_a = \sigma_a \cdot 0,58 = 312,94 \text{ N/mm}^2 = \tau_{max}$$

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \tau_{medio} = \frac{4}{3} * \frac{R}{A_{tot}} \rightarrow A_{tot} = \frac{4}{3} \frac{R}{\tau_{max}} = \frac{4}{3} * \frac{2650 82,09}{312,94} =$$

$$= 1129,43 \text{ mm}^2$$

Poiché i bulloni lavorano a taglio secondo due direzioni, la somma delle aree di tutti i bulloni dev'essere maggiore o uguale a:

$$A_T = A_{tot}/2 = 564,71 \text{ mm}^2$$

Determiniamo, per tentativi, il numero e il diametro dei bulloni, verificando che la somma delle aree delle sezioni sia uguale o poco superiore a A_T.
Supponiamo di avere 10 bulloni di diametro 8 mm e 6 bulloni di diametro 6 mm e verifichiamo se la somma di tutti è maggiore di A_T, per esserne sicuri:

$$A_8 = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,26 \text{ mm}$$

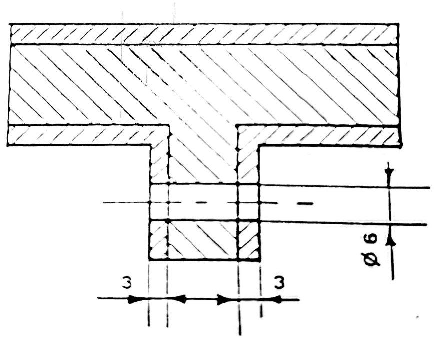
$$A_6 = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28.27 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 10 * A_8 + 6 * A_6 = 10 * 50,26 + 6 * 28.27 = 672,72 \text{ mm}^2 \\ A_g = 10 A_8 + 6 A_6 > A_T \end{array} \right.$$

Verificato questo, possiamo ammettere i bulloni di pari diametro.

Assumiamo uno spessore di 3 mm per le piastre degli attacchi fissate alla nervatura del T e verifichiamo l'ovalizzazione del foro per i bulloni di diametro 6.
L'area totale resistente è:

$$A'_{tot} = A_g * 2 = 672{,}22 * 2 = 1344{,}44\ mm^2$$



Nell'ipotesi che il carico si distribuisca uniformemente sui bulloni, la forza trasmessa da un bullone di diametro 6 mm che lavora al taglio su due sezioni è:

$$F_6 = \frac{R}{A'_{tot}} \cdot (2 \cdot A_6) =$$